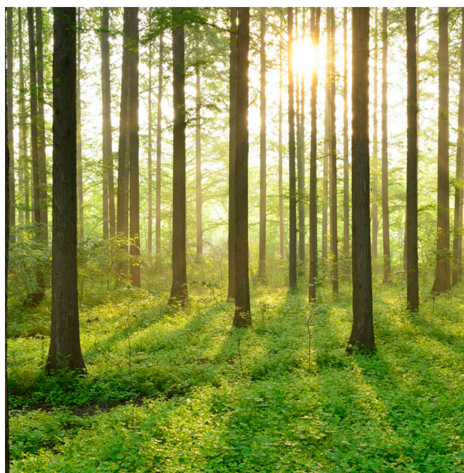
NÄRINGSPELLETS FÖR SKOGSMARK, PRODUCERAD AV BIOKOL BERIKAD MED BIOBRÄNSLEASKA OCH AMMONIUM

RAPPORT 2022:870









Energiforsk

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

Näringspellets för skogsmark, producerad av biokol berikad med biobränsleaska och ammonium

NBk-laddad askpellets

MARIA SANDBERG
MARTYNA ZYWALEWSKA

ISBN 978-91-7673-870-2 | © Energiforsk juni 2022
Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt 2019-015 *Näringspellets för skogsmark, producerad av biokol berikad med biobränsleaska och ammonium (NBk-laddad askpellets)* inom Askprogrammet som bedrivs av Energiforsk. Askprogrammet verkar för att kunskap tas fram för att stimulera användningar av askor så att ingen eller ringa risk för hälsa och miljö på kort eller lång sikt föreligger.

Projektet har syftat till att utveckla en teknik för framställning av näringspellets för återföring till skogen och har gett mer kunskaper om biokol som näringsbärare.

Arbetet har genomförts av Karlstads universitet med Maria Sandberg som huvudprojektledare. Projektet är ett samarbetsprojekt med Stora Enso Skoghalls bruk, Stora Enso plantor, Mellanskog skogsägarförening, Econova, Karlstads kommun, Skogstyrelsen och Umeå universitet. Vidare är projektet en del i ett längre projekt, NärSkog (Vinnovas projektnummer 2019-04457) som kommer att avslutas under 2022.

Projektet har från Askprogrammets sida följts av en referensgrupp bestående av:

Eva Weideman, Umeå energi,
Stefan Anderson, Skogsstyrelsen
Anita Petterson, Högskolan Borås

Helena Sellerholm
Programansvarig
Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Det är möjligt att producera en näringspellets av aska och hydrokol som både kan gödsla och ge alkaliserande effekter i skogsmark. Det är möjligt att producera produkten av restprodukter från massa- och pappersbruk, sluta kretslopp och skapa möjligheter för en cirkulär ekonomi.

De näringsämnen och de baskatjoner som ett träd tar upp, följer med ut ur skogen vid avverkning. För att inte utarma och försura marken behöver dessa ämnen återföras. En stor del av ämnena ansamlas i massa- och pappersbrukens slam och askor. Både slam och aska är avfallsprodukter som idag innebär kostnader för kvittblivning. Kvittblivning innebär samtidigt ett slöseri med viktiga resurser.

I den här studien har vi undersökt möjligheten att upparbeta slam och biobränsleaska från massa- och pappersbruk till en näringspellets för skogsmark. Resultaten visar att slam, som först upparbetats till hydrokol, kan berikas med extra kväve innan den blandas med askan och pelleteras.

Hydrokolet innehåller kväve och kan adsorbera ytterligare ammoniumkväve från exempelvis rötkammar-rejekt från kommunala reningsverk. Hydrokolet kan blandas med biobränsleaska och tryckas ihop till hållfasta pellets. Hydrokolspelletsen kan innehålla mer än 70% aska med bibehållen hållfasthet. Hydrokolspellets producerad under tryck, kan frysas utan att den faller sönder.

Vid gödsling av skogsmark rekommenderas 150 kg kväve per hektar. När hydrokol och biobränsleaska blandas i förhållande 55:45 innehåller materialet näringsämnen, baskatjoner och tungmetaller i rätt förhållande för att uppnå både 150 kg N/Ha och rekommenderade halter av baskatjoner för askåterföring. För att uppnå både gödslande och alkaliserande effekt behöver 6,5 ton produkt spridas per hektar.

Hållbara pellets med 50:50 blandning av hydrokol och aska, kan produceras när materialet håller 30% fukt och pressas med 4 kN vid 100°C. Med ökat tryck ökar pelletsen hårdhet ytterligare. Pelletsen tål ca 40 kg tryck och klarar att frysas i fuktig miljö utan att falla sönder.

Men det finns många frågor som behöver utredas ytterligare. Exempelvis vilka kostnader, vinster, miljöeffekter som den nya produkten kan innebära.

Nyckelord

Slam, biobränsleaska, hydrokol, pellets, gödsling, askåterföring, cirkulär ekonomi, resursutnyttjande, koldioxidlagring

Summary

It is possible to produce a nutrient pellet of ash and hydrocarbon that can both fertilize and give liming effects in forest soil. It is possible to produce the product from residuals from pulp and paper mills, close cycles and create opportunities for a circular economy.

The nutrients and the alkali cations that growing trees absorbs, are taken out of the forest together with the wood. In order to avoid nutrient depletion and acidified soils, these substances need to be recycled. A large part of the substances accumulates in the sludge and ash of pulp and paper mills. Both sludge and ash are waste products that today involve costs for disposal. At the same time, materials are important resources.

In this study, sludge and biofuel ash from pulp and paper mills have been processed into a nutrient pellet. The results show that the most suitable way to recycle the resources is to process the sludge into hydrochar. The hydrochar contains nitrogen and can adsorb extra ammonium nitrogen. The hydrochar can be mixed with ash and compressed into durable pellets. The hydrochar pellets may contain more than 70% ash while maintaining its strength.

When fertilizing forest land, it is recommended to spread 150 kg of nitrogen per hectare. When hydrochar and ash are mixed in a ratio of 55:45, the material contains nutrients, alkali ions and heavy metals in the right ratio to achieve both 150 kg N / Ha and recommended levels of base cations for ash recycling. To achieve both fertilizing and liming effects, 6.5 tonnes of product are needed to be spread per hectare.

Durable pellets with a 50:50 mixture of hydrocarbon and ash, can be produced when the material holds 30% moisture and is pressed with 4 kN at 100 ° C. With increasing pressure, the pellets further increase hardness. The pellets can withstand about 40 kg of pressure and can be frozen in a humid environment without falling apart.

But there are many issues that need to be investigated further. For example, what costs, benefits, environmental effects the new product may entail.

Innehåll

1 Introduktion 7

2 Metod 11

2.1 Sammanfattande beskrivning av metoden 11

2.2 Material som användes i studien 11

2.3 Adsorptionsförsök 15

2.3.1 I lab-skala 15

2.4 Pelletering 16

2.5 Lakningsförsök av biokol i pulverform och som pellets. 17

2.6 Frystest 17

2.7 Massflödes analys av näringsämnen, baskatjoner och tungmetaller 17

2.8 Litet spridningsförsök 18

3 Resultat och diskussion 19

3.1 Adsorptionsförsök 19

3.1.1 Hydrokol och ammoniumsulfatlösning 19

3.1.2 Adsorption av ammonium i rejekt till hydrokol 21

3.1.3 Adsorption av ammonium till Pyrokol 21

3.2 Pelletering 21

3.3 Lakningsförsök 23

3.4 Frystest 24

3.5 Massflödes analys 24

3.6 Litet spridningstest 26

4 Slutsatser 28

5 Fortsatt arbete 29

6 Referenslista 30

1 Introduktion

För att ställa om mot en hållbar cirkulär bioekonomi kommer vi att behöva nyttja skogens resurser i större utsträckning. När större del av trädet används för energi, ved, papper och nya produkter, transporteras det mesta av trädet och dess upptagna ämnen ut ur skogen. För ett hållbart skogsbruk behöver näringsämnen och baskatjoner återföras till skogsmarken i större omfattning. I en cirkulär ekonomi nyttjas alla resurser så länge som möjligt utan att de blir avfall. I ett skogsindustriellt perspektiv finns flera resurser som kan och behöver recirkuleras tillbaka till skogen. Resurser som idag behandlas som avfall.

Under sin livslängd tar träd upp makro-näringsämnen som kväve, fosfor, kalium, kalcium och magnesium. När trädet tar upp baskatjonerna calcium (Ca^{2+}) och magnesium (Mg^{2+}) avger trädet samtidigt försurande protoner (H^{+}). Om trädet dör och bryts ner på samma plats som det har växt upp, så återställs balansen. Men om trädet och baskatjonerna transporteras ut ur skogen, kvarstår en försurande effekt. Beroende på vilken typ av mark trädet växer i, tar det även upp andra ämnen som exempelvis tungmetaller. När metoder utvecklas för att återföra nyttiga näringsämnen och baskatjoner, behövs också strategier utvecklas för att undvika att återföra för stora mängder tungmetaller.

I Sverige används ca 50 % av avverkad skog till massa och pappersproduktion (1). Det är därför en bra strategi att söka näringsämnena för återvinning, ur brukens reströmmar. Det är främst vedens fibrer som används för att producera pappersprodukter. Övrigt organiskt materialet bränns för energiåtervinning. Oorganiska ämnen som kalcium, magnesium och fosfor ansamlas till slut i askan. Tillsammans med de oorganiska näringsämnena återfinns också de tungmetaller som fanns i veden.

För att öka tillväxt gödslas viss skogsmark med kommersiella mineralgödsel. Det är främst kväve som saknas och det är normalt att sprida 150 kg kväve per hektar (2). Eftersom mineralgödsel kan lakas ut ur marken och skapa övergödning i omgivande vattendrag behöver gödsling ske med försiktighet och med skyddzoer om 25 meter till vattendrag och andra känsliga biotoper. Aska från biobränslepannor sprids i dag i skogsmark för att minska markförsurning och för att återföra de viktiga näringsämnena fosfor och kalium. (2). Eftersom kväve omvandlas till NOx-gaser vid höga temperaturer och lämnar pannan via skorstenen, är aska ofta helt kvävefri. Om kväve är det begränsade näringsämnet i skogsmarken, så får inte askspridning någon gödslande effekt. Om askan kan berikas med kväve kan askspridning motverka försurning samtidigt som det gödslar.

För att hitta kväve som kan blandas med askan, finns andra användbara restprodukter vid massa- och pappersbruk. Det organiska materialet i veden som inte används till produkter eller kan energi-återvinnas, hamnar till slut i processavloppen. Processavlopp renas ofta med biologiska metoder och näringsämnen som kväve och fosfor ansamlas där i slammet.

Vid ett stort bruk bildas ca 5- 10 ton torrsubstans bioslam per dag. Slammet innehåller viktiga näringsämnen som kväve och fosfor. Bioslammet är i dag en resurs som hanteras som ett avfall. Men bioslam är blött, svåravvattnat och det blir snabbt ett arbetsmiljöproblem om det inte tas om hand direkt. I dag destrueras det ofta genom samförbränning med andra mer energirika bränslen. För att öka slammets energivärde kan det förädlas till biokol.(3) Biokol är till skillnad mot slam stabilt och kan hanteras och transporteras. Biokol har förutom högt energivärde även goda egenskaper som jordförbättringsmedel. När slammet kommer från ett massa- och pappersbruk är det lämpligt om resursen återförs till skogen.

Det finns flera sätt att förkola organiskt material och skapa biokol. Traditionellt tillverkas biokol med pyrolys. Under syrefria förhållanden och hög temperatur (500 – 900 °C) bildas biokol och pyrolysgaser. I den här studien kallar vi den typen av kol för pyrokol. Pyrokol är ett poröst material med många dokumenterat goda egenskaper som jordförbättringsmedel (4, 5). Pyrokol är alkaliskt och kan motverka markförsurning men det innehåller låga halter kväve. Men dess porösa struktur gör att det kan adsorbera näringsämnen. I jorden lakas näringsämnena ut långsamt och är tillgängliga för växter utan att skapa övergödning i närliggande vattendrag. (4) Pyrokols effekter i jordbruksmark är väl dokumenterade. Thomas (2015 och 2020) är en av få som har studerat effekter av pyrokol i skogsmark. Resultaten av fältstudier visar att trädens frön gror bättre, tillväxten av barrträd ökar med 30%, porositeten och markens vattenhaltighetskapacitet ökar och koldioxidutsläppen från nedbrytning av organiska ämnen i jorden minskar, när biokol blandas i jorden. (6, 7) .

Materialet behöver vara torrt innan det pyrolyseras. Eftersom slam är svårt att avvattna går det åt mycket energi att torka det. Det finns andra mer energieffektiva metoder att upparbeta slammet. Genom hydrotermisk förkolning (HTC) förkolas materialet vid förhållandevis låga temperaturer (180 -350 °C) tillsammans med vatten. Våtoxidationen sker i ett slutet kärl och det bildade trycket (ca 20 bar) påskyndar förkolningsprocessen (8-10). I den här studien kallas produkten hydrokol. Eftersom materialet inte behöver torkas innan HTC-processen, är tekniken lämplig för att ta hand om slam.

Produkten hydrokol är också en typ av biokol även om det har andra egenskaper än pyrokol. Hydrokol karaktäriseras av lågt pH jämfört med pyrokol. (4, 11, 12) För att motverka försurning behöver hydrokol blandas med något alkaliskt, som exempel aska.

Användning av hydrokol som jordförbättringsmedel är inte lika utredd som användning av pyrokol. Det finns några studier som visar goda resultat. Baronti m.fl (2017) visade att hydrokol förbättrade tillväxt av poppel under ett två års fältförsök.(13) Tallplantor som drivs upp vid plantskolor, odlas i torv. Torven är näringsfattig och därför gödslas plantorna med näringslösning. Eskandari m.fl (2019) visade att hydrokol och biobränsleaska kan minska behovet av näringslösning. Tallplantor som fått gro och växa i torv som blandats med 20% hydrokol och 6% aska, behövde bara halv näringsdos för att utvecklas lika bra som referensplantorna som växte enbart i torv men som fick 100% dos näringslösning. (14) Resultaten visar också att biokol och aska i form av pulver ger större effekt

jämfört med pellets. Det tyder på att pellets avger näring långsammare under en längre tidsperiod.

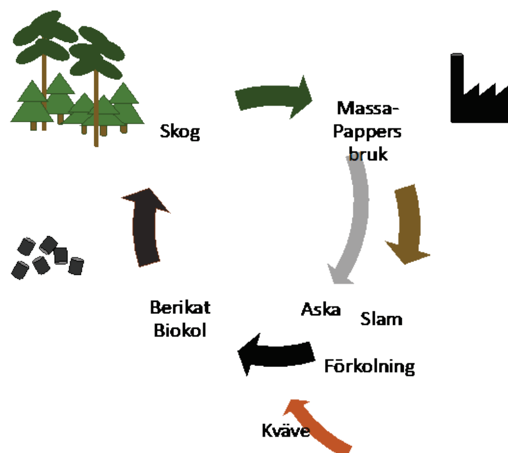
Eftersom HTC-processen sker vid förhållandevis låga temperaturer, stannar ursprungsmaterialets kväve kvar till högre grad i kolet jämfört med pyrolysprocessen. Hydrokol har därför ofta ett högt näringsinnehåll. Men det går att adsorbera ytterligare näringsämnen till kol. Hydrokol har som pyrokol, god förmåga att adsorbera näringsämnen. Biokol berikas genom att dränkas i näringsrik lösning. Näringen adsorberar till biokolets yta och är tillgängligt när biokolet blandas i marken (15, 16). Bassel och Kanswohl (2018) blandade hydrokol av olika ursprung med en ammoniumlösning. Ammonium adsorberades till hydrokolet på ca 30 minuter. Hur mycket som kunde adsorberas berodde på lösningens pH. Vid pH 9 eller högre adsorberades 9 mgNH4-N/g hydrokol. Det finns ett tröskelvärde vid pH 8. Under pH 8 adsorberades ca 5 mg NH4-N/g hydrokol. Resultaten visade också att hydrokol producerat vid höga temperaturer (220°C) adsorberade mer än hydrokol producerat vid låga (180°C).

Enligt Xuebo m.fl (17) kan pyrokol av kornrester från bryggerier, adsorbera mellan 2 och 5 mg NH4/g pyrokol. Mängden adsorberad ammonium ökad med pryolystemperaturen.

Skogsindustriella processavlopp är ofta näringsfattiga. Ibland behövs extra kväve och fosfor för att driva det biologiska reningsverket. Det är därför svårt att hitta ytterligare en kväverik restprodukt vid de skogsindustriella bruken. I kommunala avloppsvatten är förhållandet det omvända. Det finns ofta mer kväve än vad som behövs för att driva rening av organiskt material. När bakterierna i slammet assimilerat det kväve de behöver, används ytterligare kombinationer av aeroba och anaeroba reningsmetoder för att omvandla resterande kväve till kvävgas som avgår till luften. Vid många av Sveriges kommunala reningsverk rötas slammet. Under rötning bryts slammet ner. Det kväve som tidigare assimilerats till slammet kommer därför att återfinnas i omgivande vätska. Efter rötningen behöver rötresten avvattnas och då bildas ett näringsrikt rejektvatten med höga halter ammonium. I dag återförs rejektvattnet till reningsverket där det krävs energi- och andra resurser för att rena kvävet ”en gång till”. Rejektvattnet är hygieniserat, d.v.s. sjukdomsalstrande bakterier dör under rötningsprocessen. Rejektvattnet kan därför användas som kvävekälla för att berika biokol. Den mängd ammonium som fastnar i biokolet minskar dessutom belastningen på reningsverket.

Genom att blanda kväveberikat biokol med biobränsleaska kan ett material för kombinerad gödsling och askåterföring skapas. För att sprida kväveberikad biokol och aska i skogen behöver det troligtvis pelleteras först. I pelletsform dammar materialet mindre när det transporteras och sprids i skogen. Genom att paketera det berikade materialet i en pellets kommer näring och baskatjoner att lakas långsammare ut i marken jämfört med om det sprids i form av pulver.

I dag drivs många biokolsprojekt med syfte att minska klimateffekten. Förkolningsprocessen fördröjer mineraliseringen av det organiska materialet. Beroende på förkolnings-process så är biokol stabilt under hundratals upp till tusentals år. Kol-lagrande egenskaper är viktiga, men i det här projektet fokuserar vi på biokolets möjlighet att berikas med näringsämnen



Figur 1: Schematisk beskrivning över hur skogsindustriella restprodukter kan upparbetas och recirkuleras till skogen.

Med projektets värmländska anknytning är det intressant att notera att vid de fyra bruk i närområdet kring Karlstad, produceras varje år ca 6 000 ton aska och 18 000 ton TS slam. Det är resurser som kan uppgraderas till näringsberikad biokol. Närheten mellan bruken och den stora mängden material ger ekonomiska fördelar vid eventuell framtida produktion.

Målet med det här projektet har varit att ta reda på:

- Hur mycket ammonium kan adsorberas till biokol producerat av slam från skogsindustriella reningsverk?
- I vilka proportioner bör biobränsleaska och ammoniumberikad biokol blandas för att skapa en näringspellets som kan användas i skogsbruk?
- Under vilka betingelser kan rätt proportioner av biobränsleaska och ammoniumberika biokol pressas ihop till pellets?
- Hur fort lakar kväve och andra näringsämnen ut ur pelletsen? I denna studie enbart i enkla lakningstest med vatten.

2 Metod

2.1 SAMMANFATTANDE BESKRIVNING AV METODEN

I den här studien har slam från massa- och pappersbruk upparbetats till biokol med två olika metoder, pyrolys och hydrotermisk förkolning. De båda kolen har biologiskt ursprung och kan kallas för biokol. Men de har olika egenskaper. Fortsättningsvis kallas de pyrokol eller hydrokol. Slammet hämtades från Stora Enso Skoghalls bruk och från Stora Ensos bruk i Henola, Finland. Kolen berikades med extra kväve i form av ammonium. Berikningen utfördes i labskala med ammoniumsulfatlösning och med ammoniumrikt rejektflöde från Sjöstads kommunala reningsverk. Det berikade biokolet blandades med flygaska från Stora Enso Skoghalls biobränslepanna och pelleterades i en pelletsmaskin i lab-skala (en pellets i taget).

I den här studien undersöktes hur mycket ammonium som kan adsorberas till de olika biokolen och hur mycket av ammoniumet som sedan lakas ut när materialet läggs i vattnet.

För att kunna sprida berikat biokol i skogen bör det vara pelleterat. Betingelser vid pelletering testades för att producera hållbara pellets med olika halter av aska. För att simulera en vinter, placerades pellets i frysen. Pelletsen hållbarhet efter frysning testades också.

Med massflödesanalys beräknades hur mycket näringsämnen, baskatjoner och biokol som kan berika skogsmark genom att sprida den nya näringsberikade pelletsprodukten. Samtidigt beräknades mängden tungmetaller som följer med materialet till skogen.

Till slut gjordes också ett mycket enkelt spridningsförsök på 25 m^2 stor yta.

2.2 MATERIAL SOM ANVÄNDES I STUDIEN

Syftet med den här studien är att upparbeta olika typer av restprodukter massa- och pappersbruk samt kommunala reningsverk, till en ny produkt som lämpar sig att sprida som gödsel och kalkningsmedel i skogen.

För att producera massa och papper går det åt stora volymer vatten. Processavloppet renas i flera olika steg. Ofta inleds reningsverket med en försedimentering där fibrer och andra fasta partiklar avskiljs. Här skapas ett fiberslam. Vattnet leds sedan vidare till biologisk rening där mikroorganismer bryter ner löst organiskt material samtidigt som det bildas bioslam, som till stor del består av bakterier. Ibland kan vattnet behöva renas i ett tredje steg med kemisk fällning och flockning. Med hjälp av aluminium eller järnjoner flockas kolloidalt organiskt material och ibland även fosfor, ihop till ett kemiskt slam som kan avskiljas med flotation eller sedimentering. Vid Stora Enso Skoghalls bruk, blandas fiberslam, bioslam och kemslam innan de avvattnas och bränns för energiåtervinning. I den här studien tillverkades pyrokol av blandslammet. Det avvattnade blandslammet torkades på Karlstads universitet i en plantork där luft

strömmar upp genom materialet. Det torra blandslammet pyrolyserades vid 550°C hos företaget Standard Bio i Bö, Norge.



Figur 2: Blandslam torkades i en plantork på Karlstads universitet.



Figur 3: Blandslam före och efter pyrolys.

Vid Stora Ensos bruk i Heinola, Finland förkolas bioslam från reningsverket med hydrotermiskt förkolning (HTC) innan det avvattnas och bränns för energiåtervinning. De använder Oxy Power HTC, levererad av företaget C-green.

Förkolningen sker vid 200°C och ca 20 bars tryck[1,2]. Det avvattnade slammet transporterades till Karlstads universitet där det torkades.



Figur 4: Hydrokol torkat i bitar upp till 5 cm.

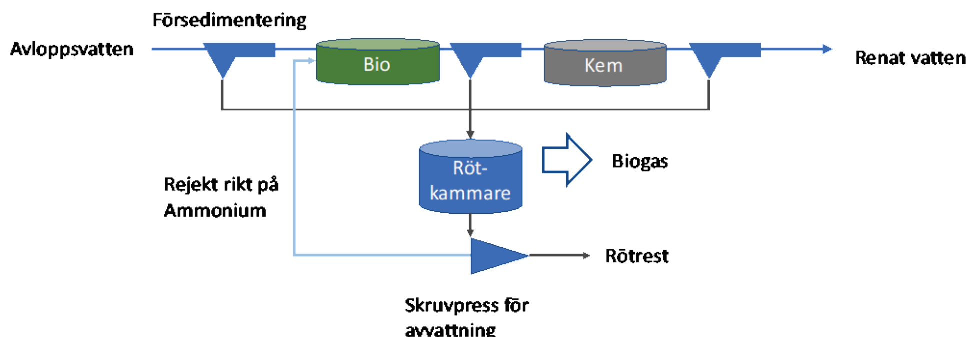
Vid Stora Ensos bruk i Skoghall förbränns slam och bark i en biobränslepanna. I den här studien användes flygaska från pannan som åldrats (karbonatiserats) i mer än 6 månader.

Vid Sjöstads reningsverk renas avloppsvatten från närmare 70 000 personer. Vattnet renas med mekaniska, biologiska och kemiska processer. Slammet från alla processer blandas och avvattnas innan det rötas. Biogasen upparbetas och används som fordonsgas. Efter rötningen skapas en rötrest som avvattnas med en skruvpress till ca 40% torrhalt. Sjöstads reningsverk är Revaq-certifierad, vilket innebär att rötresten är av god kvalitet och innehåller små mängder föroreningar. Rötresten används idag som gödning vid närliggande jordbruk.

Under rötningsprocessen dör många av de bakterier som finns i reningsverket och en stor del av slammets innehåll av kväve löser sig i vattnet. När rötresten avvattnas skapas ett ammonium rikt rejektvatten som idag recirkuleras tillbaka till reningsverket för att renas. Rejektet håller mellan 1000 och 1500 mg NH_4-N per liter. I den här studien berikades pyrokol och hydrokol med ammonium från rejektet.

[1] https://www.c-green.se

[2] https://www.nordiskaprojekt.se/2019/10/11/hydrotermisk-karbonisering-hos-stora-enso-i-heinola/



Figur 5: Schematisk bild av ett kommunalt reningsverk. När slam från reningsverket rötas löser ammonium ut i vattnet. När rötresten avvattnas skapas det ammoniumrika rejektet som används för att berika biokol.

Alla material som används i den här studien har passerat en lång kedja av processer för att till slut hanteras som avfall. I slam och aska anrikas de metaller som trädet tog med sig från skogen. Under förkolningsprocessen avgår en stor del av det organiska materialet som pyrolysgaser eller löser sig i vattnet vid HTC-processen. Halterna av eventuella metaller kan därför anrikas ytterligare. I tabell 1 och 2 är halterna för de olika material som använts samlade.

Tabell 1: Innehåll av metaller i rejekt från Sjöstads reningsverk. Medelvärde av tre analyser.

Ämne	Enhet	Rejekt från Sjöstads reningsverk
Pb	µg/l	2,03
Cd	µg/l	0,12
Cu	µg/l	58,00
Cr	µg/l	3,10
Ni	µg/l	4,87
Zn	µg/l	106,00
Hg	µg/l	0,15

Tabell 2: Innehåll av näringsämnen och metaller i Flygaska, pyrokol och hydrokol. Alla ämnen analyserades inte i pyrokolet.

Ämne	enhet	Flygaska	Pyrokol av blandslam	Hydrokol av bioslam
N	g/kg TS	0	---	37
P	g/kg TS	7,1	---	17
Ca	g/kg TS	150	---	13
Mg	g/kg TS	12	---	1,8
As	mg/kg TS	3,8	< 3	<3
Ba	mg/kg TS	91	190	160
Pb	mg/kg TS	39	6,3	4,2
Cd	mg/kg TS	8,1	3	1,2
Co	mg/kg TS	6,3	---	9,8
Cu	mg/kg TS	66	27	22
Cr	mg/kg TS	71	24	23
Ni	mg/kg TS	31	4,5	34
V	mg/kg TS	42	---	16
Zn	mg/kg TS	1200	270	370
Hg	mg/kg TS	0,32	<0,03	0,09

2.3 ADSORPTIONSFÖRSÖK

2.3.1 I lab-skala

Hydrokolet består av mycket små partiklar men levereras hoppressat i kakor från HTC-anläggningen i Heinola. Kakorna är lätta att mala till fint pulver. När finmalt hydrokol blandas med vatten bildas en slurry som är svår att separera. För att göra det möjligt att avskilja en klarfas för analys, valdes att göra adsorptionsförsöken och lakningsförsöken med bitar av pressat hydrokol. Kolet mortlades och siktades. Fraktionen 0,78 – 2 mm användes för försöken. Bitarna sjönk till botten i vätskan och lämnade en klarfas. Under försöken vättes bitarna in till mitten av adsorptions- och lakningsvätskan.

Det pyrolyserade blandslammet är inhomogent med stor spridning i partikelstorlek. För att få jämförbara resultat, mortlades och siktades även pyrokolet och fraktionen mellan 0,78 – 2 mm användes för försöken.

Adsorptionsförsök gjordes med både rejekt från Sjöstads reningsverk (1100 mg NH4-N /l) och ammoniumsulfat-lösning (1000 mg NH4-N /l). pH justerades med Natriumhydroxid (7,5 M) innan ammoniumlösningarna blandades med kolet. pH sjunker under reaktionen, särskilt med sur hydrokol. pH mättes efter jämvikt mellan kolet och ammonium-lösningen. Kolet blandades med de ammonium-haltiga vätskorna i olika vikt- /volymförhållande mellan 0,05 g/ml och 0,15 g/ml. pH sjönk medan kolet reagerade med ammoniumlösningen till dess jämvikt ställt in sig. Det tog ca en timme. Halten ammonium mättes i vätskan efter jämnvikt ställt in sig med Hach kyvett-test, LCK 305.

Efter adsorptionsförsöken, filtrerades vätskan av och kolet torkades över natten i 105°C.

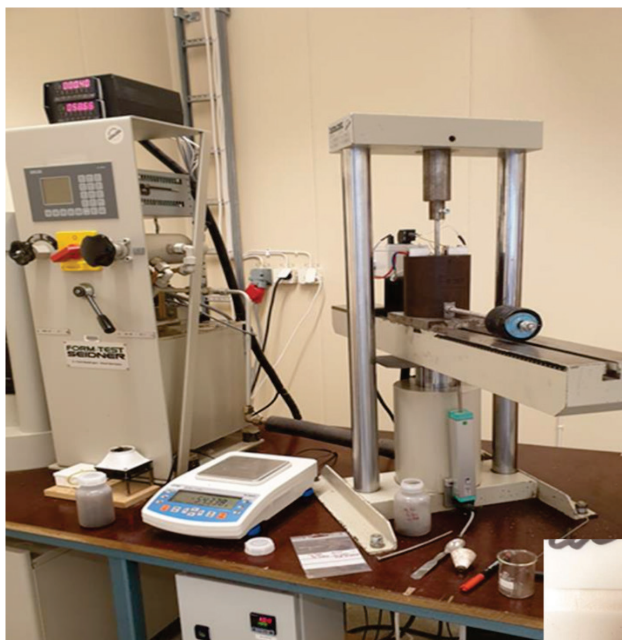
2.4 PELLETERING

Hydrokol med olika mängder inblandad biobränsleaska, pelleterades i utrustning som gör en pellets i taget. Utrustningen finns vid Karlstads universitet, figur 6.

Pyrokol och hydrokol blandades med aska och vatten i olika proportioner i plastpåsar. De olika materialen blandades väl och fukten fick tid att fördela sig jämt i materialet. Därefter pressades pellets av 1 gram material.

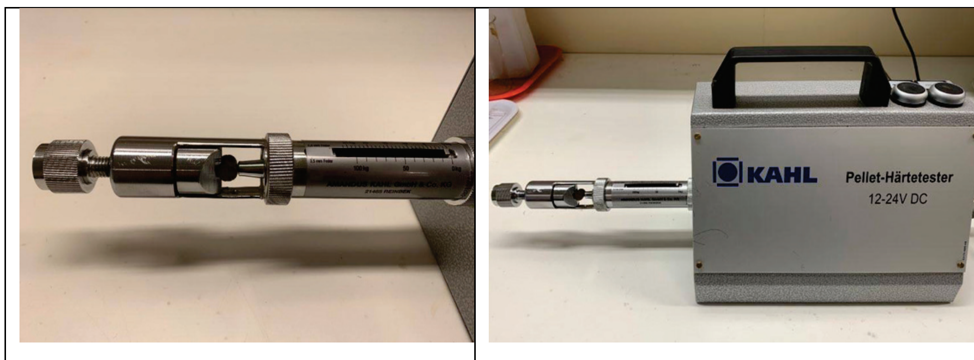
Två olika förhållanden mellan hydrokol:aska testades. 30:70 och 50:50. Två olika fukthalter testades, 5% och 30%.

Temperaturen hölls till 100°C, materialet pressades ihop med hastighet 30 mm/min. När önskat tryck nåtts hölls det i 10 sekunder. Pellets producerades med trycket 0, 4 och 8 kN .



Figur 6: Pelletspress för en pellets i taget.

Pelletsens hållbarhet testades med dropptest från 2 m höjd och hållbarhet med Kahls hållbarhets test för pellets då trycket som behövs för att trycka sönder pelletsen registreras.



Figur 7: Trycket som behövs för att pressa sönder en pellets mäts med Kahl hårdhetstest.

2.5 LAKNINGSFÖRSÖK AV BIOKOL I PULVERFORM OCH SOM PELLETS.

Kväveberikat kol från adsorptionsförsök i lab-skala i form av 1 g pulver eller en pellets blandades med 40 ml avjonat vatten. Koncentrationen av NH4-N mättes i vätskan varje dag i fem dagar.

Dubbla lakningsförsök gjordes på kväveberikat hydrokol och kväveberikat pyrokol. Tre olika pellets som pressats med två olika tryck ingick också i försöksserien.

Pellets 50:50 hydrokol:aska 8 kN
Pellets 30:70 hydrokol:aska 0 kN
Pellets 30:70 hydrokol:aska 8 kN

2.6 FRYSTEST

För att efterlikna förhållanden i skogsmark vintertid, placerades hydrokolspellets i en liten burk med fuktig torv. Burken frystes sedan ner i -18°C under 48 timmar. Burken tinades upp och pelletsens hårdhet analyserades. Pellets av 100% hydrokol pressade vid 0, 4 och 8 kN testades.

2.7 MASSFLÖDES ANALYS AV NÄRINGSÄMNEN, BASKATJONER OCH TUNGMETALLER

Med massflödesanalys beräknades hur stor mängd näringsämnen, baskatjoner och biokol som kan berika skogsmark med den nya näringsberikade pelletsprodukten. Beräkningarna utgick ifrån att 150 kg N/ha skulle spridas. Därefter beräknades hur stor mängd av övriga näringsämnen, baskatjoner och tungmetaller blandningen innehåller när berikad hydrokol blandades med 45 %, 50 % eller 70 % aska. För att ta reda på om blandningens innehåll av näringsämnen, baskatjoner och tungmetaller överensstämmer med Skogsstyrelsens riktlinjer för askspridning, jämfördes resultaten med mängden näringsämnen, baskatjoner och tungmetaller som sprids när 3 ton / ha godkänd aska sprids.

2.8 LITET SPRIDNINGSFÖRSÖK

I samband med ett mindre odlingsförsök i Projektet NärSkog gjordes ett inledande försök att sprida kväveberika hydrokol och aska i skogsmark. En mindre yta skogsmark (5*5 m) rensades från större grenar. En blandning av kväveberikad hydrokol och aska 50:50 spreds över halva markytan i en omfattning som motsvarar 7 ton/ha. Blandningen spreds som pulver och la sig till en början som ett damm över växtligheten. Genom att försiktigt ruska om i riset och mossan spreds pulvret neråt och markytan såg nästan opåverkad ut. Tall och granplantor från projekt NärSkog planterades i de båda ytorna. Planteringen skedde i juni 2021. Hydrokolets och askans inverkan på plantorna kommer att utvärderas 2022. Resultaten kommer därför inte att vara tillgängliga för detta projekt. Men en inledande analys av hydrokolets och askans inverkan på mark-kemin kan redovisas här.

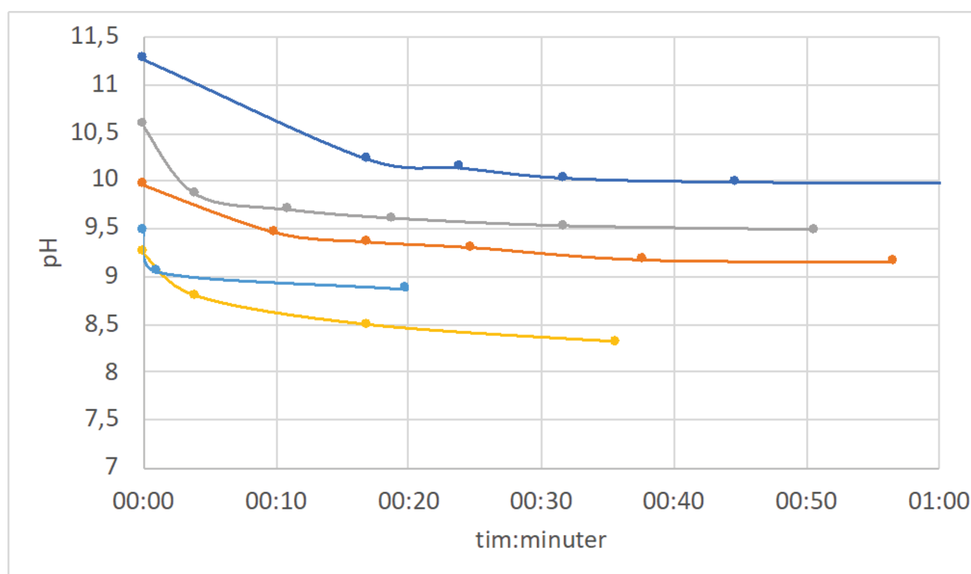
Två månader efter att hydrokol och aska i viktförhållandet 50:50 spridits över ytan, analyserades pH och konduktivitet i tre jordprover från vardera referens- och berikad yta. 3g jordprov blandades med 30 ml avjoniserat vatten. Efter en timma under skakning, analyserades pH och jonstyrka i vattenfasen.

3 Resultat och diskussion

3.1 ADSORPTIONSFÖRSÖK

3.1.1 Hydrokol och ammoniumsulfatlösning

När hydrokol blandas med ammoniumsulfatlösning (1000 mg/l NH_4-N) suger den åt sig ammonium till dess jämnvikt ställt in sig mellan kolet och lösningen. Hydrokol har lågt pH, ca pH 4,5. När surt hydrokol blandas med alkalisk ammoniumlösning sjunker pH. pH sjunker även på grund av reaktionen. I figur 8 syns det att det tar ca 30 minuter för reaktionen att nå jämvikt.

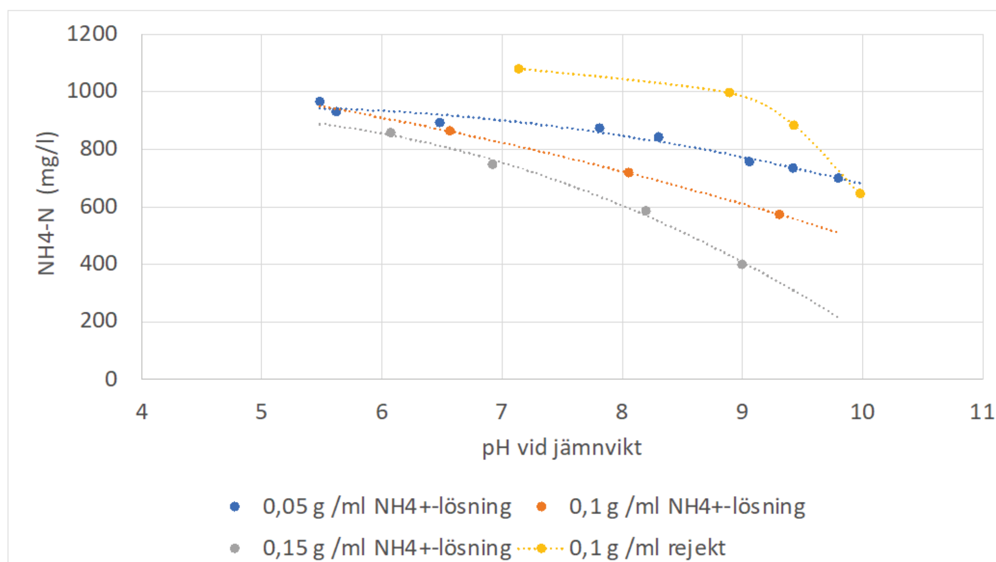


Figur 8: Förändring av pH vid reaktion mellan 2g hydrokol och 40 ml ammoniumsulfatlösning med olika start-pH.

När Generellt kan sägas att mer ammonium adsorberas med ökande pH.

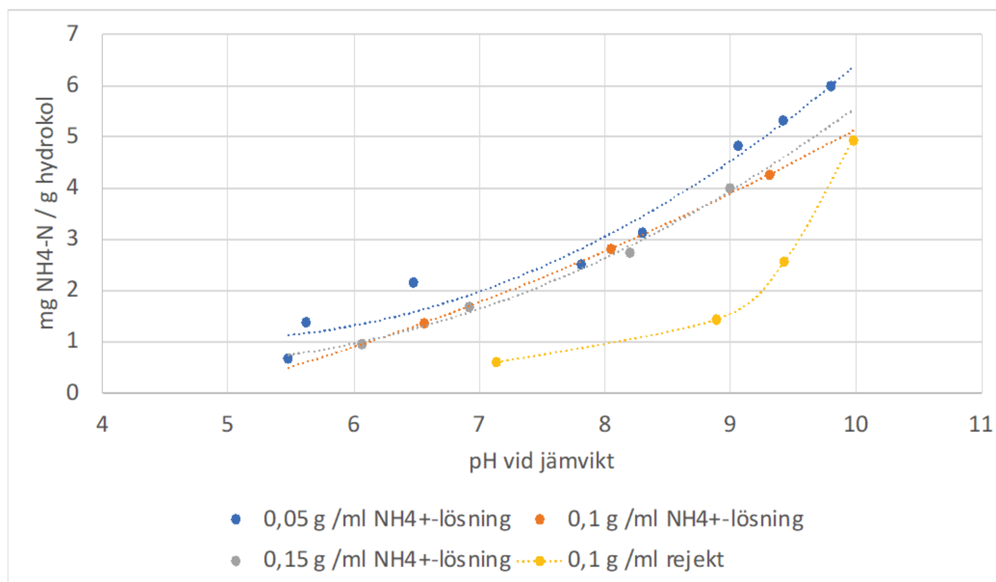
I figur 9 är pH och jämnviktskoncentrationen av ammonium i lösningen redovisade. När 2 g hydrokol blandades med 40 ml ammoniumlösning (0,05 g/ml) sjönk halten ammonium från 1000 till ca 750 mg/l vid pH 9. När mängden hydrokol ökade till 6 g i samma volym (0,15 g/ml) adsorberades mer ammonium. Vid pH 9 motsvarar det jämnviktskoncentration 400 mg/l.

Energiforsk



Figur 9: Koncentration av ammonium-kväve i lösning som regerat hydrokol vid olika pH och olika mängd:volym-förhållanden mellan hydrokol och ammoniumlösning. I figuren redovisas också resultat från försök där hydrokol reagerat med rejekt.

I försöken testades tre olika mängd:volymförhållanden. Ju mer hydrokol desto mer ammonium adsorberades. Men beräknad mängd adsorberad ammonium per g hydrokol visar att lika mycket ammonium adsorberas per g hydrokol oavsett mängd:volymförhållande, figur 10.



Figur 10: Mängd ammonium-kväve adsorberat till hydrokol vid olika pH och olika mängd:volym-förhållanden mellan hydrokol och ammoniumlösning. I figuren redovisas också resultat från försök där hydrokol reagerat med rejekt.

Ammonium har pKa 9,3, vilket innebär att vid höga pH tappar den en proton och bildar ammoniak. Ammoniak löser sig i vatten och adsorberas till kol, men avgår lätt i gasfas, särskilt om temperaturen ökar. Adsorption vid höga pH är kostsamt och kolet kan påverka marken negativt om det är för alkaliskt. Därför gjordes inte fler försök med högre pH.

3.1.2 Adsorption av ammonium i rejekt till hydrokol

Hydrokolet adsorberade även ammonium i rejekt från det kommunala reningsverket, figur 9 och 10. Men det adsorberades med lite lägre utbyten jämfört med den rena ammoniumsulfatlösningen. Rejektet innehöll 1180 mg/l NH4-N. När det får reagera med hydrokol i förhållande 0,1 g hydrokol /ml rejekt, sjunker halten till ca 900 mg/l NH4-N vid pH 9. Vilket kan jämföras med 600 mg/l när kolet får reagera med ammoniumsulfatlösning. Det beror troligtvis på att det finns andra joner i rejektet som också adsorberas till kolet. Men det ger fortfarande en stor reduktion av ammonium som ger stora fördelar för reningsverket som slipper rena det igen.

Det utfördes fler adsorptionsförsök med ammoniumlösning än med rejekt. Resultaten från ammoniumlösningen visar att det går att nå bättre avskiljningsgrad av ammonium om mängd-volym-förhållandet ökar, figur 9. Det indikerar att även halten ammonium i rejektet kan reduceras med mer än 50% vilket skulle vara av stor betydelse för energi och resursbesparingar i det kommunala reningsverket.

3.1.3 Adsorption av ammonium till Pyrokol

Pyrokol är alkaliskt och därför gav det inte samma pH förändring när det blandades med ammoniumlösningen som hydrokol. Liknande mängder kväve kan adsorberas till pyrokol jämfört med hydrokol. Färre försök gjordes med pyrokol eftersom hydrokol visade sig vara ett bättre alternativ för produktion av näringsberikad pellets. I tabell 3 redovisas pH-förändring och mängd adsorberad ammonium till pyrokol vid olika pH.

Tabell 3: pH före och efter adsorption av ammonium

Start pH	pH vid jämvikt	Adsorberad NH_4-N (mg/g pyrokol)
6,85	8,07	1,06
8,2	8,3	2,28
9	8,27	2,21
9,69	9,42	5,2

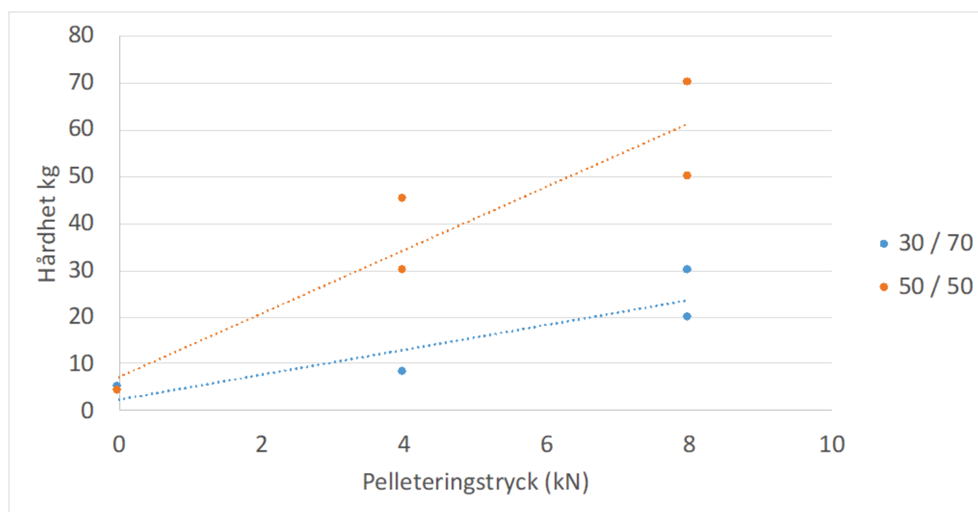
3.2 PELLETERING

De båda undersökta kolen har helt olika egenskaper. Det är inte möjligt att pressa pellets av pyrokol med den pelletspress som används i den här studien. Medan hydrokolets små partiklar, sintrar samman till hårda, blanka och hållbara pellets. Det går även bra att blanda in hög andel aska och fortfarande pressa hållbara pellets, Figur 11.



Figur 11: Pellets tillverkade av biobränsleaska och hydrokol i förhållandet 70:30. Ju högre tryck pelletsen är pressad med, desto kortare pellets.

Det går att blanda in en stor andel aska i hydrokolet och fortfarande forma pellets. Men det behövs fukt för att de ska bli hållbara. När blandningen av hydrokol och aska innehöll 5% fukt innan pelletering blev pelletsen skör och klarade inte ett dropptest från 2 m höjd. Men när fukthalten ökades till 30% klarade alla pellets dropptestet. Med ökande tryck under pelleteringen ökade även pelletsens hårdhet, Figur 12.



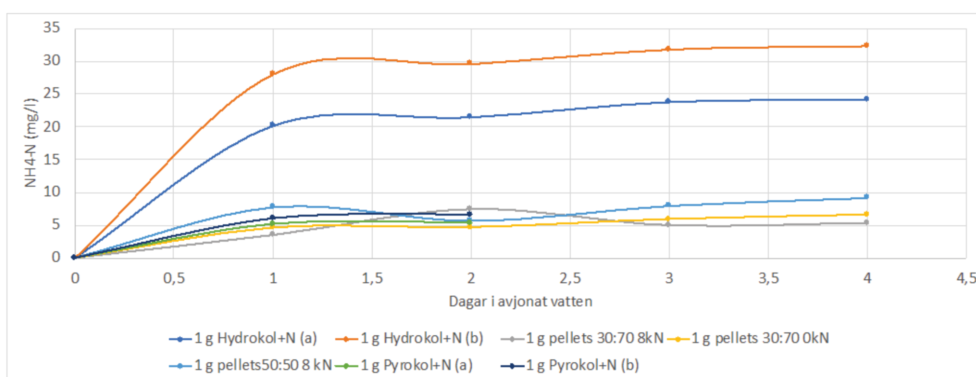
Figur 12: Hårdhet hos pellets tillverkade av hydrokol och biobränsleaska i förhållandet 30:70 och 50:50. Blandningen innehöll 30% fukt. Pelleteringen skedde vid 100°C och med varierande tryck 0, 4 och 8 kN.

I en kontinuerlig pelletspress är det svårt att kontrollera trycket som pressar ihop materialet. Det beror på friktionen mellan materialet och matrisen som formar pelletsen. I den här studien fanns inte tillräckligt mycket material för att göra försök i en kontinuerlig pelletspress. Det behöver därför utredas vidare. Om materialet inte skulle passa för traditionella pelletsteknik, finns andra tekniker att pressa samman hydrokolspulver.

Eftersom hydrokol är så lätt att pressa samman, fungerar det mycket bra som bärare av aska. Tillsammans skapar de en hållbar produkt som kan transporteras till och spridas i skogen utan risk för damning.

3.3 LAKNINGSFÖRSÖK

När kväveberikad hydrokol i partikelstorlek 0,78 – 2 mm placeras i vatten, löses en del av det absorberade ammoniumet ut i vattnet, figur 13. Det mesta lakar ur redan första dagen. Därefter ökar halten ammonium i vattnet långsamt.



Figur 13: Halten ammonium i 40 ml avjonat vatten efter lakning av Kväveberikad hydrokol, Pellets med olika aska:hydrokol förhållanden, pressade med 0 eller 8 kN samt kväveberikad pyrokol.

De pellets som ingår i lakningsförsöket innehåller 50 % eller 70% aska. Det betyder att mindre mängd berikad hydrokol finns i bägaren jämfört med ett gram kväveberikad hydrokol i pulverform. Det kan vara en anledning till att mindre kväve lakar ur. Men i tabell 4 är andelen av pelletsens ammonium-innehåll som lakats ut angivet. I tabell 4 syns att mindre andel av adsorberad ammonium lakas ut när materialet är pressat till en pellets. Det spelar ingen roll vilket tryck som pelletsen är tillverkad vid.

Det ammonium som adsorberats till pyrokol, lakas ut i mindre omfattning jämfört med berikad hydrokol. Efter 2 dagar har 7 % av adsorberad ammonium lakats ut. Lakningsförsök med pyrokol gjordes enbart med pulver.

Tabell 4: Andel av adsorberad ammonium utlakat efter två dagar från ammonium berikad hydrokol, pellets av berikad hydrokol och aska samt berikat pyrokol.

Försök	Andel av N som lakat ut efter 2 dagar	pH i lösningen efter 2 dagar
Hydrokol (a)	17%	6,26
Hydrokol (b)	24%	6,12
pellets 50:50 8kN	13%	8,94
pellets 30:70 0kN	12%	9,72
pellets 30:70 8kN	13%	9,71
Pyrokol a	7%	7,68
Pyrokol b	7%	7,6

pH i lösningen beror av vilket material som undersöks. Hydrokol i pulverform ger pH ca 6,2. När aska blandats med hydrokol ökar pH. 50% aska ger pH 8,9 medan 70% aska ger pH 9,7.

Lakningsförsök med berikad pyrokol gav pH 7,6.

Resultaten tyder på att det mesta av det adsorberade kvävet fäster i kolet och utan att lakas ut direkt. När hydrokolet är pelleterat fördröjs utlakningen.

3.4 FRYSTEST

Efter 48 timmar i frysen föll pellets pressade med 0 kN isär. Medan de som var pressade med 4 och 8 kN fortfarande var intakta.

Resultaten visar att det går att producera pellets som faller sönder efter en vinter. Näring och baskatjoner blir snabbare tillgängliga för växter när pelletsen faller sönder.

Resultaten visar också att det troligtvis går att producera en pellets som håller under längre tid och som låter näringsämnen och baskatjoner lakas ut under en längre tid.

Fler försök med upprepade perioder av frysning och upptining behöver göras för att lära mer om vilka egenskaper näringspellets behöver ha för att uppnå önskad spridning och tillgänglighet av näringsämnen.

3.5 MASSFLÖDES ANALYS

Hydrokolet som används i den här studien innehåller 37 g N /kg TS. Med adsorption i ammoniumlösning kan ca 5 mg/kg extra adderas. Det är en ganska liten ökning och det är kanske inte värt besväret att genomföra det extra momentet. Det kan däremot ha stor betydelse för reningsverket som kan undvika rening av ammonium. Vilken effekt det har för reningsverket har inte utvärderats i det här projektet.

Målet med studien var att berika biobränsleaska med kväve. Genom att blanda hydrokol som innehåller relativt höga halter kväve, med aska som innehåller baskatjoner, skapas en ny produkt som både kan användas som gödsel och för att återföra baskatjoner till skogsmark. Men det är viktigt att se till att mängden tungmetaller som följer med de olika produkterna inte blir för stor. I den här studien har Skogsstyrelsens rekommendationer för askspridning använts som riktlinje för att hitta rätt proportioner mellan hydrokol och biobränsleaska utan att mängden tungmetaller överskrids.

För att berika skogsmark med baskatjoner rekommenderar Skogsstyrelsen att sprida 2 – 3 ton aska spridas per Ha. Det gäller för askor som innehåller näring och tungmetaller inom vissa gränser redovisade i Tabell 5.

Tabell 5: Skogsstyrelsens riktlinjer för innehåll av näringsämnen och tungmetaller i aska som ska spridas i skogsmark.

Näringsämne	Enhet	riktvärde	Metall	Enhet	riktvärde
N	g/kg TS		As	mg/kg TS	<30
P	g/kg TS	> 7	Pb	mg/kg TS	<300
Ca	g/kg TS	>125	Cd	mg/kg TS	<30
Mg	g/kg TS	>15	Cu	mg/kg TS	<400
			Cr	mg/kg TS	<200
			Ni	mg/kg TS	<70
			V	mg/kg TS	<70
			Zn	mg/kg TS	500 - 7000
			Hg	mg/kg TS	<3

När skogsmark gödslas, sprids ca 150 kg N/Ha. Idag använd främst mineralgödsel som innehåller ca 50% kväve. Om det skulle ersättas med hydrokol skulle det motsvara 3,6 ton hydrokol per hektar, tabell 4. Hydrokolet innehåller även kalcium och magnesium men inte tillräckligt höga halter för att motsvara askspridning. Genom att blanda hydrokolet med biobränsleaska går det att åstadkomma en produkt som innehåller rekommenderade värden av baskatjoner samtidigt som den ger 150 kg N/Ha.

Med näringspellets som innehåller 70% aska och 30% hydrokol, behöver 11,9 ton näringsberikad pellets spridas per hektar för att nå upp till 150 kg N/Ha. Men då överskrids tillåtna mängder av krom, nickel och vanadin. Enligt tabell 6 är det optimala förhållandet mellan hydrokol och aska 55:45 eller 50:50. Då uppfylls både kravet för gödsel och för askåterföring.

Tabell 6: Mängd berikad näringspellets, näringsämnen och tungmetaller som behöver spridas i skogen för att nå 150 kg N/Ha. Mängderna jämförs mot Skogstyrelsens riktlinjer vid spridning av 3 ton aska /Ha. De värden som är grönmarkerade faller inom Skogstyrelsens riktlinjer. Röda siffor faller utanför. De markerade med gult är gränsfall.

Hydrokol:aska		100:0	70:30	50:50	30:70	0:100	skogsstyrelsen
Material	ton/Ha	3,6	5,1	7,1	11,9	3	3 ton Aska/Ha
N	kg/Ha	150	150	150	150	0	
P	kg/Ha	60,7	71,6	86,1	119,9	21,3	> 21
Ca	kg/Ha	46,4	275,9	582,1	1296,4	450,0	> 375
K	kg/Ha	4,6	33,7	72,5	163,0	57,0	> 90
Mg	kg/Ha	6,4	24,8	49,3	106,4	36,0	> 45
As	g/Ha	0,0	5,8	13,6	31,7	11,4	< 90
Pb	g/Ha	15,0	74,7	154,3	340,0	117,0	< 900
Cd	g/Ha	4,3	16,7	33,2	71,8	24,3	< 90
Cu	g/Ha	78,6	179,5	314,3	628,6	198,0	< 1200
Cr	g/Ha	82,1	190,7	335,7	673,8	213,0	< 600
Hg	g/Ha	0,3	0,8	1,5	3,0	1,0	< 9
Ni	g/Ha	121,4	168,8	232,1	379,8	93,0	< 210
V	g/Ha	57,1	121,4	207,1	407,1	126,0	< 210
Zn	g/Ha	1,3	3,2	5,6	11,3	3,6	1,5 -21

I tabell 6 syns att alternativet med näringspellets som innehåller 50% hydrokol och 50% aska uppfyller nästan alla krav som Skogsstyrelsen ställer på näringsinnehåll

och tungmetallinnehåll som motsvarar 3 ton aska /Ha. Genom att sprida 7,1 ton näringspellets /Ha, gödslas marken med 150 kg N/Ha. Det är bara kalium och nickel som är gulmarkerade. Med 7,1 ton näringspellets /Ha blir mängden kalium 72,2 kg/Ha. Det är något mindre än Skogsstyrelsens rekommendationer >90 kg/Ha. Och mängden nickel överskrider något rekommendationerna på < 210 g/Ha.

Att sprida 7,1 ton pellets/Ha innebär mer än dubbelt så mycket material jämfört med askåterföring och mer än 10 ggr så mycket material jämfört med mineralgödsel. Vilka konsekvenser det får med avseende på kostnader, miljöeffekter och vilja hos skogsägare att använda produkten, behöver utredas vidare.

Med näringspellets producerad av hydrokol tillförs samtidigt en form av biokol till marken.

Ca 15% av hydrokol anses vara stabilt under längre tid. Det motsvarar 1 ton stabilt kol per hektar och 3,5 ton lagrad CO_2 per hektar. Troligtvis är den miljövinsten större än miljöeffekter av ökade transporter mm.

Pyrokol är mer stabilt jämfört med hydrokol. Om det hade varit möjligt att använda pyrokol som bärare av aska så hade större mängd koldioxid kunnat lagrats. Men idag känner vi inte till metoder att producera hållbara pellets som kan binda in biobränsleaska och transporteras på ett hållbart sätt utan att damma. Det kan vara möjligt att producera granuler av pyrokol och aska. Det kan vara möjligt att använda tillsatser för att undvika damning mm. Granulering av biokol och aska har inte undersökts i den här studien.

3.6 LITET SPRIDNINGSTEST

Två månader efter att aska och hydrokol i pulverform spridits över provytan, syntes ingen skillnad på ris, mossa eller plantor mellan referensytan och den berikade ytan. Det betyder att spridning av kväveberikad hydrokol och aska (viktförhållande 50:50 motsvarande 7 ton/ha) inte gav någon synbar omedelbar negativ effekt på ris, mossa eller plantor. Vilket är ett viktigt resultat som kan ligga till grund för större framtida spridningsförsök.

Två månader är för kort tid för att ge synlig effekt på tall- och granplantorna som finns i provytan. Plantorna kommer att utvärderas vid senare tillfälle utanför ramen av det här projektet.



Figur 14: Provyta där en blandning av hydrokol och aska har spridits.

Analysen av pH och framför allt konduktivitet i jordproverna visar en tydlig effekt av hydrokolet och askan. pH var något högre i den berikade jordlagret, pH 5,6 jämfört med pH 5,2 i referensytan. Medan konduktiviteten var mer än dubbelt så hög jämfört med referensytan. Enligt Skogsstyrelsens sammanställning av fältförsök, kan pH öka mellan 0,4 och 1,4 pH enheter när lös aska sprids i skogsmark.

Tabell 7: Analys av jordprover tagna 2 månader efter spridning av kväveberikad hydrokol och aska i viktförhållande 50:50 motsvarande 7ton/ha

	Referensyta		**Yta med kväveberikad hydrokol och aska**	
Jordprov	**pH**	**Konduktivitet (µS/cm)**	**pH**	**Konduktivitet (µS/cm)**
1	5,09	91	5,60	262
2	5,30	135	5,57	281
3	5,22	134	5,63	228
medel	**5,2**	**120**	**5,6**	**257**

4 Slutsatser

Det hydrokol som användes i den här studien innehöll redan från början 37 mg/g N. Det är möjligt att adsorbera ytterligare ca 5 mg ammonium-kväve per g hydrokol.

När hydrokol och biobränsleaska blandas i förhållande 55:45 innehåller materialet näringsämnen, baskatjoner och tungmetaller i rätt förhållande för att uppnå både 150 kg N/Ha och rekommenderade halter av baskatjoner och tungmetaller för askåterföring. För att uppnå både gödslande och alkaliserande effekt behöver ca 6,5 ton produkt spridas per hektar.

Hållfasta pellets med 50:50 blandning av hydrokol och aska, kan produceras när materialet håller 30% fukt och pressas med ca 4 kN vid 100°C. Med ökat tryck ökar pelletsen hårdhet ytterligare. Pelletsen tål ca 40 kg tryck och klarar att frysas i fuktig miljö utan att falla sönder. Det var inte möjligt att producera pellets av pyrokol med samma pelleteringsmetod som använder för hydrokol i den här studien..

När näringspelletsen placeras i avjonat vatten lakas ca 13% av dess extra adsorberade ammonium ut efter 3 dagar.

Ett preliminärt spridningstest visade efter 2 månader ingen synbar effekt på växter, medan konduktiviteten och pH ökade i jorden.

Sammanfattningsvis indikerar resultaten att går att producera en berikad pellets av aska och hydrokol som bör kunna spridas i skogsmark med både gödande och alkaliserande effekt.

5 Fortsatt arbete

Resultaten visar att det finns en möjlighet att producera en produkt som både kan gödsla och ge alkaliserande effekter i skogsmark. Det är möjligt att producera produkten av restprodukter från massa- och pappersbruk och det ger därför möjlighet att sluta kretslopp och skapa möjligheter för en cirkulär ekonomi. Men det finns många frågor som behöver utredas ytterligare.

Sker någon ammoniakavgång när adsorption sker vid pH över 9?

Kontinuerlig pelletstillverkning behöver undersökas. Lakning och frysning av näringspellets behöver undersökas under längre tid.

Effekter av näringspellets i skogsmark behöver undersökas med fältstudier. Resultat från det lilla spridningsförsöket gav lovande resultat.

Utöver tekniska aspekter behöver ekonomiska, miljömässiga och praktiska aspekter utvärderas. Frågor som behöver utredas är bl.a:

- Vilka tekniska och ekonomiska konsekvenser får förbättrat resursutnyttjande för massa- och pappersbruk?
- Vad kostar det att producera näringspelletsen och vad är skogsägare beredda att betala för den.
- Vilka miljöeffekter får produktion och användning av näringspelletsen, inräknat koldioxidlagring av stabilt kol.

6 Referenslista

1. Skogsindustrierna.se. Omskogsindustrin/branschstatistik/skogsindustrins virkesforsörjning 2021 [
2. Drott A, Anderson S, Eriksson H. Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder. Kunskaplsunderlag. 2019. Contract No.: Rapport 2019/13.
3. Mohammadi A, Sandberg M, Venkatesh G, Eskandari S, Dalgaard T, Joseph S, et al. Environmental analysis of producing biochar and energy recovery from pulp and paper mill biosludge. Journal of INDUSTRIAL ECOLOGY. 2019:1-13.
4. Ding Y, Liu Y, Liu S, Li Z, Tan X, Huang X, et al. Biochar to improve soil fertility. A review. A*gron Sustain Dev*. 2016;36(36).
5. Li Y, Hu S, Chen J, Müller K, Li Y, Fu W, et al. Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: a review. Journal of soils and sediment. 2018;18:546-63.
6. Thomas SC, Gale N. Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. New Forests. 2015;46:931-46.
7. Welander T, Alexandersson T, Ericsson T, Gunnarsson L, Storlie A, editors. Reducing sludge production in biological effluent treatment by applying the LSP process. TAPPI Proceedings - Environmental Conference and Exhibit, v 2, Setting the Envrionmental Course for 21st Century; 2000.
8. Heidari M, Dutta A, Acharya B, Mahmud S. A review of the current knowledge and challenges of hydrothermalcarbonization for biomass conversion. Journal of the Energy Institute. 2019;92(6):1770-90.
9. Cgreen.se. Hydrotermisk karbonisering hos Stora Enso i Heinola https://www.nordiskaprojekt.se/2019/10/11/hydrotermisk-karbonisering-hos-stora-enso-i-heinola/2019 [
11. Fernando F, Belda RM. Biochar versus hydrochar as growth media constituents for ornamental plant cultivation. Sciagric. 2018;75(4):304-12.
12. Fornes F, Belda Rm. Use of raw and acidified biochar as consotituents of growth media for forest seedling production. New Forest. 2019:1-24.
13. Baronti S, Alberti G, Camin F, Criscuoli I, Genesio L, Mass R, et al. Hydrochar enhances growth of poplar for bioenergywhile marginally contributing to direct soil carbonsequestration. Bioenergy. 2017;9:1618-26.
14. Eskandari S, Mohammadi A, Sandberg M, Eckstein RL, Hedberg K, Granström K. Hydrochar-amended substrates for production of containerized pine tree seedlings under different fertilization regimes. Agronomy. 2019;9(7):350.
15. Ibrahim B, Schlegel M, Kanswohl N. Effectiveness of Biochar from Hydrothermal Carbonization of Wetland Biomass for Sorption of Ammonia. Chemie Ingenieur technik. 2018;90(3):340-7.
16. Tang Y, Alam M, Konhauser K, Alessi D, Xu S, Tian W, et al. Influence of pyrolysis temperature on production of digested sludge biochar and its application for ammonium removal from municipal wastewater. . Journal of Cleaner Production. 2019;209:927-36.
17. Zheng X, Yang Z, Xu X, Dai M, Guo R. Characterization and ammonia adsorption of biochar prepared from distillers' grains anaerobic digestion residue with different pyrolysis temperatures. J Chem Technol Biotechnol. 2017.

NÄRINGSPELLETS FÖR SKOGSMARK, PRODUCERAD AV BIOKOL BERIKAD MED BIOBRÄNSLEASKA OCH AMMONIUM

Den här studien visar att det är möjligt att producera en näringspellets av skogsindustriella restprodukter som både kan gödsla och ge alkaliserande effekter i skogsmark.

Med hydrotermisk förkolning kan bioslam från massa- och pappersbruk upparbetas till ett hydrokol med relativt högt innehåll av kväve. Hydrokolet kan berikas ytterligare med ammonium. Det är möjligt att pelletera en blandning av aska och hydrokol till hållbara pellets som lämpar sig att sprida i skogsmark. När aska och kväveberikad hydrokol blandas i förhållande 50:50, behöver 7 ton pellets spridas per hektar för att uppnå 150 kg kväve per hektar. Samtidigt efterlevs Skogsstyrelsens rekommendationer för spridning av baskatjoner och tungmetaller.

Det är möjligt att producera näringspellets av restprodukter från massa- och pappersbruk, sluta kretslopp och skapa möjligheter för en cirkulär ekonomi.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk